Всемирная Метеорологическая Организация
Погода • Климат • Вода

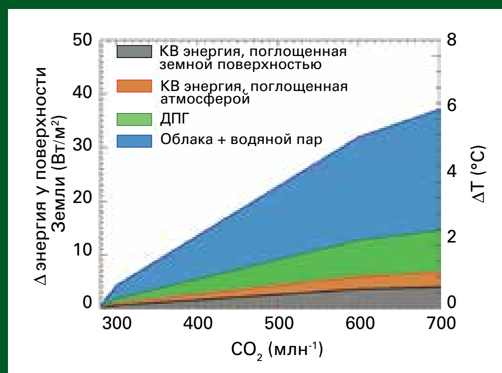
GLOBAL ATMOSPHERE WATCH

БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ПАРНИКОВЫМ ГАЗАМ

Содержание парниковых газов в атмосфере по данным глобальных наблюдений в 2014 г.

№ 11 | 9 ноября 2015 г.

ISSN 2078-0710



Водяной пар и двуокись углерода (CO_2) являются основными парниковыми газами (ПГ), при этом CO_2 — это основной фактор, влияющий на изменение климата. Изменения содержания водяного пара в значительной степени являются реакцией на изменение содержания CO_2.

Некоторые газы в атмосфере, такие как водяной пар и CO_2, поглощают и вновь освобождают инфракрасную энергию из атмосферы на поверхность. Этот процесс, известный как парниковый эффект, ведет к повышению средней приземной температуры примерно на 33 К по сравнению с тем, какой она была бы в отсутствие этих газов. Тем не менее именно присутствующие в атмосфере неконденсирующиеся газы (в основном CO_2, но также метан (CH_4), закись азота (N_2O) и хлорфторуглероды (ХФУ)) являются факторами воздействия. Водяной пар и облака создают быстродействующую обратную связь. Водяной пар быстро реагирует на изменение температуры процессами испарения, конденсации и выпадения осадков. Наблюдения, проводимые в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА), способствуют изучению этих процессов с некоторой степенью детализации.

Количество поступающей коротковолновой (КВ) солнечной радиации, достигающей верхней границы атмосферы Земли, составляет приблизительно 340 Вт/м²; 30 % этой радиации отражается обратно в космос, в основном облаками, 20 % поглощается атмосферой, а 50 % поглощается поверхностью Земли. В состоянии равновесия потоки приходящей коротковолновой и уходящей длинноволновой (ДВ) энергии на верхней границе атмосферы уравновешивают друг друга. В доиндустриальный период вследствие парникового эффекта поток энергии на поверхности превышал поток энергии на верхней границе атмосферы на 160 Вт/м². На рисунке показаны изменения глобального баланса приземной энергии с ростом концентрации CO_2 по отношению к доиндустриальному периоду. На вертикальной оси справа отмечено увеличение приземной температуры, необходимое для достижения равновесия между приходящей (КВ + ДВ) и уходящей (ДВ) радиацией.

Часть графика, окрашенная в зеленый цвет, представляет тепловую энергию, создаваемую долгоживущими, хорошо смешанными парниковыми газами, главным образом CO_2. Часть графика, окрашенная в голубой цвет, показывает реакцию воды в атмосфере на рост концентрации CO_2. Ярко выраженная обратная связь водяного пара означает, что при сценарии, учитывающем увеличение концентрации CO_2 в два раза по сравнению с доиндустриальным периодом (с приблизительно 280 до 560 млн$^{-1}$ [1]), водяной пар и облака в глобальном масштабе приводят к росту тепловой энергии, и этот вклад примерно в три раза превышает вклад долгоживущих парниковых газов (рисунок подготовлен по материалам Lacis et al., 2013).

Резюме

Последний анализ данных наблюдений, полученных в рамках Программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, показывает, что глобально усредненные молярные доли* двуокиси углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O) достигли в 2014 г. новых максимумов, причем для CO_2 новый максимум составил 397,7±0,1 млн$^{-1}$, для CH_4 — 1833±1 млрд$^{-1}$ [2], а для N_2O — 327,1±0,1 млрд$^{-1}$. Эти значения составляют соответственно 143 %, 254 % и 121 % по отношению к доиндустриальным (1750 г.) уровням.

Темпы увеличения содержания CO_2 в атмосфере с 2013 по 2014 гг. близки к средним темпам роста за последние 10 лет. Как для CH_4, так и для N_2O увеличение содержания с 2013 по 2014 гг. превысило наблюдавшееся с 2012 по 2013 гг., а также средние темпы роста за последние 10 лет. Годовой индекс содержания парниковых газов, рассчитанный Национальным управлением по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), показывает, что в период с 1990 по 2014 гг. радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов (ДПГ) увеличилось на 36 %, при этом на CO_2 приходится около 80 % этого увеличения.

* Молярная доля может трактоваться как мера концентрации.

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

Обзор

В настоящем одиннадцатом ежегодном Бюллетене ГСА/ВМО по парниковым газам сообщается о содержании в атмосфере важнейших ДПГ — двуокиси углерода, метана и закиси азота и о темпах изменения их содержания, а также приводится краткая информация о вкладе в радиационное воздействие на атмосферу других газов. На эти три газа, наряду с ХФУ-12 и ХФУ-11, приходится приблизительно 96 %[3] радиационного воздействия, обусловленного ДПГ (рисунок 1).

Программа Глобальной службы атмосферы ВМО (http://www.wmo.int/gaw) координирует систематические наблюдения и анализ парниковых газов и других малых газовых составляющих. Станции, на которых в последнее десятилетие осуществляется мониторинг парниковых газов, показаны на рисунке 2. Данные измерений сообщаются участвующими странами и архивируются и распространяются Мировым центром данных по парниковым газам (МЦДПГ), находящимся в Японском метеорологическом агентстве.

В таблице 1 приведены глобально усредненные значения содержания в атмосфере трех основных ДПГ в 2014 г. и изменения их содержания относительно 2013 и 1750 гг. Эти результаты получены посредством анализа рядов данных (WMO, 2009), отвечающих мировым эталонам ВМО. Данные с подвижных станций, за исключением судовых станций НУОА, с которых производится отбор проб в Тихоокеанском регионе (синие треугольники на рисунке 2), в этом глобальном анализе не используются.

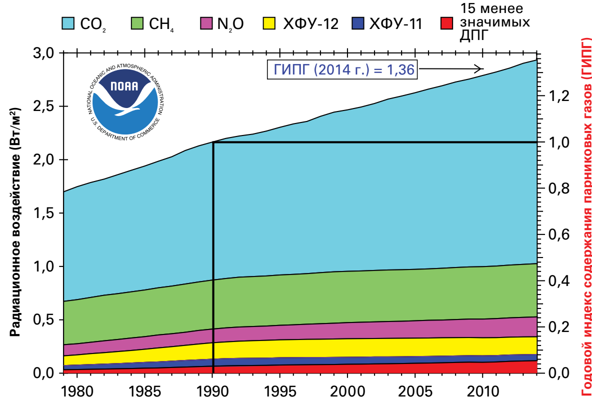


Рисунок 1. Радиационное воздействие ДПГ на атмосферу по сравнению с 1750 г. и обновленный годовой индекс содержания парниковых газов (ГИПГ) НУОА за 2014 г.

Таблица 1. Глобальное среднегодовое содержание (2014 г.) и тренды важнейших парниковых газов по данным глобальной сети ГСА/ВМО для мониторинга парниковых газов. Единицы измерения — молярные доли в сухом воздухе, а погрешности определены на уровне доверительного интервала, составляющего 68 %.

	CO_2	CH_4	N_2O
Глобальное содержание в 2014 г.[4]	397,7±0,1 млн$^{-1}$	1833±1 млрд$^{-1}$	327,1±0,1 млрд$^{-1}$
Содержание в 2014 г. относительно 1750 г.[a]	143 %	254 %	121 %
Абсолютное увеличение в 2013-2014 гг.	1,9 млн$^{-1}$	9 млрд$^{-1}$	1,1 млрд$^{-1}$
Относительное увеличение в 2013-2014 гг.	0,48 %	0,49 %	0,34 %
Среднегодовое абсолютное увеличение за последние 10 лет	2,06 млн$^{-1}$/год	4,7 млрд$^{-1}$/год	0,87 млрд$^{-1}$/год

* Исходя из предположения о том, что в доиндустриальный период молярная доля CO_2 составляла 278 млн$^{-1}$, CH_4 — 722 млрд$^{-1}$, а N_2O — 270 млрд$^{-1}$. Число станций, данные которых использовались для анализа, составляет 122 для CO_2, 123 для CH_4 и 33 для N_2O.

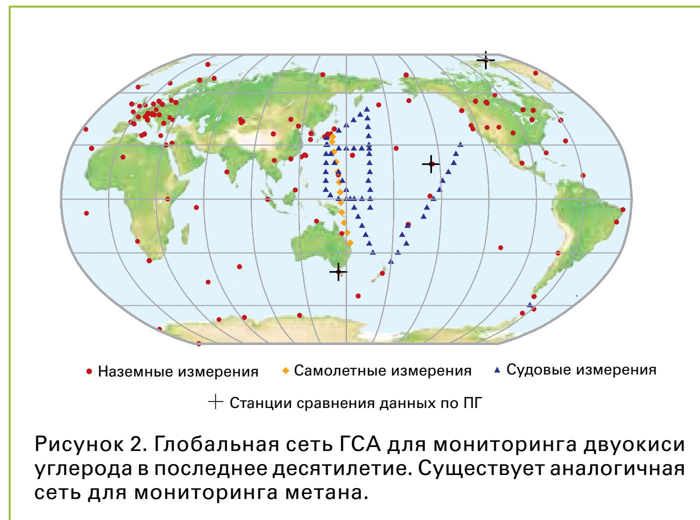


Рисунок 2. Глобальная сеть ГСА для мониторинга двуокиси углерода в последнее десятилетие. Существует аналогичная сеть для мониторинга метана.

Три парниковых газа, показанные в таблице 1, тесно связаны с антропогенной деятельностью и активно взаимодействуют с биосферой и океанами. Прогнозирование эволюции содержания парниковых газов в атмосфере требует количественной оценки их многочисленных источников, поглотителей и химических преобразований в атмосфере. Наблюдения ГСА предоставляют неоценимую информацию об ограничениях при расчете балансов этих или иных ДПГ и используются для проверки правильности кадастров выбросов и оценки спутниковых данных о среднем содержании ДПГ в столбе атмосферы.

В 2014 г. годовой индекс содержания парниковых газов НУОА составил 1,36, что указывает на увеличение общего радиационного воздействия всех ДПГ на 36 % после 1990 г. и увеличение на 1,2 % с 2013 по 2014 гг. (рисунок 1). Суммарное радиационное воздействие всех ДПГ в 2014 г. соответствует молярной доле эквивалента CO_2, составляющей 481 млн$^{-1}$ (http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi).

Двуокись углерода (CO_2)

Двуокись углерода является единственным наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии ДПГ составляет ~65 %[3]. Его вклад в увеличение радиационного воздействия за последнее десятилетие составляет ~83 % и ~82 % за последние пять лет. Доиндустриальный уровень, составлявший ~278 млн$^{-1}$, отражал баланс потоков между атмосферой, океанами и биосферой. Содержание CO_2 в атмосфере достигло в 2014 г. 143 % по отношению к доиндустриальному уровню, главным образом из-за выбросов от сжигания ископаемых видов топлива и производства цемента (в 2013 г., согласно данным http://www.globalcarbonproject.org, суммарные выбросы CO_2 составили 9,9±0,5 ПгУ[5]), обезлесения и других изменений в землепользовании (0,9±0,5 ПгУ[5] в 2013 г). Среднее увеличение CO_2 в атмосфере за последнее десятилетие соответствует ~44 % выбросов CO_2 в результате деятельности человека, а оставшиеся ~56 % удаляются за счет поглощения океанами и биосферой суши. Доля выбросов CO_2 из-за сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год вследствие значительной естественной изменчивости поглотителей CO_2 без подтвержденной при этом глобальной тенденции. Глобально усредненная молярная доля CO_2 в 2014 г. составила 397,7±0,1 млн$^{-1}$ (рисунок 3). Среднегодовой прирост с 2013 по 2014 гг., а именно 1,9 млн$^{-1}$, меньше прироста с 2012 по 2013 гг. и средних темпов роста за последнее десятилетие (~2,06 млн$^{-1}$/год), но выше средних темпов роста за 1990-е гг. (~1,5 млн$^{-1}$/год). Более низкие темпы роста в 2014 г. по сравнению с предыдущими годами, наиболее вероятно, связаны с увеличением ежегодного поглощения CO_2 биосферой суши в тропических и субтропических регионах.

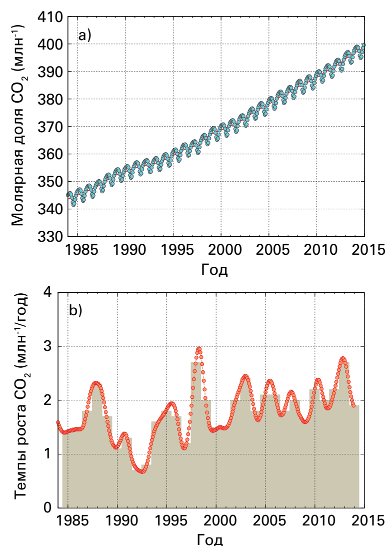


Рисунок 3. Глобально усредненная молярная доля CO_2 (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2014 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике "b".

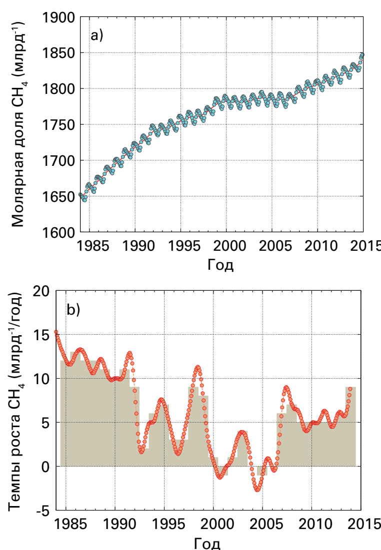


Рисунок 4. Глобально усредненная молярная доля CH_4 (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2014 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике "b".

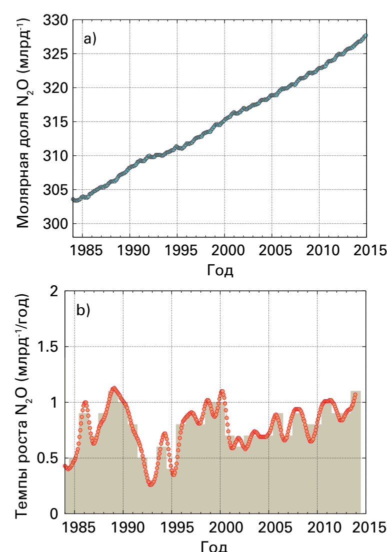


Рисунок 5. Глобально усредненная молярная доля N_2O (a) и темпы ее роста (b) с 1984 по 2014 гг. Среднегодовые темпы роста показаны в виде столбцов на графике "b".

Метан (CH_4)

Доля метана в радиационном воздействии ДПГ составляет ~17 %[3]. Приблизительно 40 % метана поступает в атмосферу из естественных источников (например, водно-болотные угодья и термитники) и приблизительно 60 % — из антропогенных (например, жизнедеятельность жвачных животных, выращивание риса, использование ископаемого топлива, свалки мусора и сжигание биомассы). Содержание CH_4 в атмосфере достигло 254 % по отношению к доиндустриальному уровню (~722 млрд$^{-1}$) в связи с увеличением выбросов из антропогенных источников. Глобально усредненная доля CH_4 достигла в 2014 г. нового максимума, составившего 1833±1 млрд$^{-1}$, что является увеличением на 9 млрд$^{-1}$ по отношению к предыдущему году (рисунок 4). Темпы роста CH_4 снизились с ~13 млрд$^{-1}$/год в начале 1980-х гг. до почти нулевого значения в период 1999-2006 гг. После 2007 г. содержание CH_4 в атмосфере вновь стало увеличиваться вследствие увеличения объема выбросов в тропических и средних широтах северного полушария. Исследования, основанные на данных измерений CH_4 ГСА, указывают на то, что вероятной причиной является увеличение эмиссии CH_4 из болот в тропиках и выбросов из антропогенных источников в умеренных широтах северного полушария.

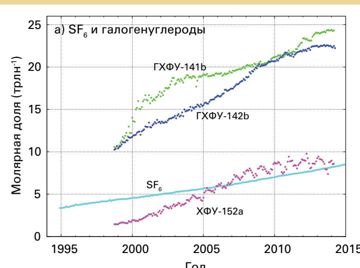
Закись азота (N_2O)

Доля закиси азота в радиационном воздействии ДПГ составляет ~6 %[3]. Это третий наиболее важный ДПГ по своему вкладу в общее радиационное воздействие. Он поступает в атмосферу как из естественных (около 60 %), так и из антропогенных источников (приблизительно 40 %), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Глобально усредненная молярная доля N_2O в 2014 г. достигла 327,1±0,1 млрд$^{-1}$, что на 1,1 млрд$^{-1}$ выше показателя предыдущего года (рисунок 5), и составляет 121 % от доиндустриального уровня (270 млрд$^{-1}$). Годовое увеличение с 2013 по 2014 гг. превышает средние темпы роста за последние 10 лет (0,87 млрд$^{-1}$/год).

Другие парниковые газы

Гексафторид серы (SF_6) является мощным ДПГ. Он производится химической промышленностью, главным образом в качестве электроизолятора для энергораспределительного оборудования. В настоящее время его молярная доля примерно в два раза выше уровня, наблюдавшегося в середине 1990-х гг. (рисунок 6 (a)). Вклад хлорфторуглеродов (ХФУ), разрушающих стратосферный озоновый слой, вместе с менее значимыми галоидированными газами в радиационное воздействие ДПГ составляет ~12 %[3] . Хотя содержание ХФУ и большинства галонов сокращается, доля гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) и гидрофторуглеродов (ГФУ), которые также являются активными парниковыми газами, увеличивается относительно быстрыми темпами, однако их концентрация по-прежнему остается на низком уровне (на уровне трлн$^{-1}$ [6], рисунки 6 "a" и "b").

В настоящем бюллетене рассматриваются главным образом ДПГ. Радиационное воздействие относительно короткоживущего тропосферного озона сопоставимо с радиационным воздействием галоидоуглеводородов. Многие другие загрязнители, такие как окись углерода (CO), оксиды азота и летучие органические соединения, хотя они и не относятся к парниковым газам, оказывают небольшое прямое или косвенное влияние на радиационное воздействие. Аэрозоли (взвешенные частицы) также являются короткоживущими веществами, которые изменяют радиационный баланс. Мониторинг всех упомянутых здесь газов, а также аэрозолей осуществляется в рамках Программы ГСА при поддержке стран — членов ВМО и сетей, предоставляющих данные.



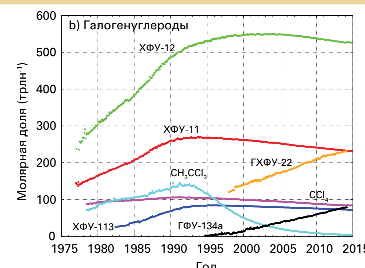


Рисунок 6. Среднемесячная молярная доля гексафторида серы (SF_6) и наиболее важных галоидоуглеводородов. SF_6 и галоидоуглеводороды с низкой молярной долей (a) и галоидоуглеводороды с высокой молярной долей (b). Число станций, использованных в анализе, является следующим: SF_6 (23), ХФУ-11 (24), ХФУ-12 (24), ХФУ-113 (23), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (23), ГХФУ-141b (9), ГХФУ-142b (13), ГХФУ-22 (13), ГФУ-134a (9), ГФУ-152a (8).

Распространение бюллетеней

Секретариат ВМО осуществляет подготовку и распространение настоящих бюллетеней в сотрудничестве с Мировым центром данных по парниковым газам, находящимся в Японском метеорологическом агентстве, и Научной консультативной группой ГСА по парниковым газом при содействии Научной лаборатории НУОА по изучению системы Земля (ЕСРЛ). Бюллетени доступны на веб-страницах Программы ГСА и МЦДПГ.

Выражение признательности и ссылки

Пятьдесят стран — членов ВМО предоставили в МЦДПГ ГСА данные по CO_2. Приблизительно 46 % данных измерений, передаваемых в МЦДПГ, собираются на станциях совместной сети ЕСРЛ НУОА по отбору проб воздуха. Для получения данных по другим сетям и станциям см. *16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2011)* (16-е совещание ВМО/МАГАТЭ по двуокиси углерода, другим парниковым газам и соответствующим методам измерения (ПГМИ-2011)) (Отчет ГСА № 206) (доступен по адресу: http://www.wmo.int/gaw). В подготовку настоящего бюллетеня также внесен вклад по линии Расширенного эксперимента по глобальным атмосферным газам (AGAGE) в виде данных наблюдений. Помимо этого станции мониторинга ГСА, предоставившие данные для использования в настоящем бюллетене, отмечены на рисунке 2 и перечислены в списке станций, внесших вклад в подготовку бюллетеня, на веб-странице МЦДПГ (http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg/). Они также описаны в Системе информации о станциях ГСА (СИСГСА) (http://gaw.empa.ch/gawsis), которая получает поддержку со стороны Метеорологической службы Швейцарии.

Справочная литература

Lacis, A.A., J.E. Hansen, G.L. Russell, V. Oinas and J. Jonas, 2013: The role of long-lived greenhouse gases as principal LW control knob that governs the global surface temperature for past and future climate change. *Tellus B*, **65**, 19734, doi:10.3402/tellusb.v65i0.19734.

Conway, T.J., P.P. Tans, L.S. Waterman, K.W. Thoning, D.R. Kitzis, , K.A. Masarie and N. Zhang, 1994: Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory global air sampling network, *J. Geophys. Res.*, 99:22831–22855.

WMO, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami and T.J. Conway). GAW Report No. 184 (WMO/TD No. 1473), Geneva, 29 pp.

Контактная информация

Всемирная Метеорологическая Организация
Отдел исследований атмосферной среды,
Департамент научных исследований, Женева
Э-почта: AREP-MAIL@wmo.int
Веб-сайт: http://www.wmo.int/gaw

Мировой центр данных по парниковым газам
Японское метеорологическое агентство, Токио
Э-почта: wdcgg@met.kishou.go.jp
Веб-сайт: http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdcgg

[1] млн$^{-1}$ = число молекул газа на миллион (10^6) молекул сухого воздуха.

[2] млрд$^{-1}$ = число молекул газа на миллиард (10^9) молекул сухого воздуха.

[3] Эта процентная доля рассчитывается как относительный вклад вышеупомянутого(ых) газа(ов) в повышение глобального радиационного воздействия, вызванного всеми долгоживущими парниковыми газами с 1750 г.

[4] Указанные диапазоны погрешности рассчитываются по методу бутстрепа согласно Conway et al.,1994. Эта неопределенность рассчитывается с доверительным интервалом в 68 % (одна сигма).

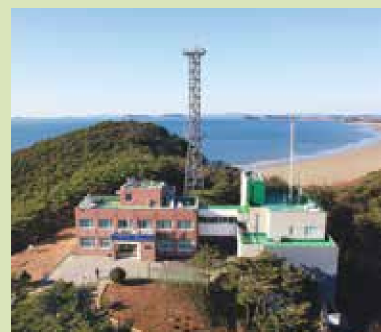
[5] 1 ПгУ = 1 ГтУ = 1 миллиард (10^9) тонн или 10^{15} г углерода.

[6] трлн$^{-1}$ = число молекул газа на триллион (10^{12}) молекул сухого воздуха.

Отдельные обсерватории ГСА для мониторинга парниковых газов



Исанья (28,31° с. ш., 16,50° з. д., 2 373 м н. у. м., http://izana.aemet.es) расположена на вершине горы на Тенерифе (Канарские острова, Испания) значительно выше мощного субтропического слоя температурной инверсии. Станция эксплуатируется Центром атмосферных исследований Исаньи (IARC) Государственного метеорологического агентства Испании (AEMET). Измерения содержания парниковых газов *in situ* были начаты в Исанье в 1984 г. (CO_2 и CH_4) и в 2007 г. (N_2O и SF_6). Более подробная информация о программе измерений на станции представлена в отчете *Izaña Atmospheric Research Center. Activity Report 2012-2014* (Центр атмосферных исследований Исаньи. Отчет о деятельности в 2012–2014 гг.) (Отчет ГСА № 219, 2015 г.).



Станция Анмёндо (AMY) (36,54° с. ш., 126,33° в. д., 46 м н. у. м.), эксплуатируемая Корейской метеорологической администрацией, расположена на западном побережье Корейского полуострова. Станция находится в сфере воздействия континентальных воздушных масс зимой и весной и морских воздушных масс с северной части Тихого океана летом. С 1999 г. на станции производятся измерения CO_2 и CH_4 с помощью спектрометра времени затухания резонатора, а измерения содержания N_2O, ХФУ и SF_6 — с помощью газовой хроматографии в сочетании с использованием датчика захвата электронов. В рамках сотрудничества с Сетью НУОА по отбору проб воздуха на станции AMY производится сбор данных об изотопном составе CO_2.



Станция Пюи-де-Дом (PUY) во Франции (45,77° с. ш., 2,97° в. д., 1 465 м н. у. м.) эксплуатируется Национальным центром научных исследований и Университетом им. Блеза Паскаля (www.opgc.fr/SO/mesures/index.php). Воздух в районе станции является репрезентативным для состава атмосферы в данном регионе. Измерения молярной доли CO_2 в атмосфере производятся на станции PUY непрерывно с 2000 г. Использовавшийся с 2000 г. недисперсионный инфракрасный газоанализатор был заменен в 2011 г. на спектрометр времени затухания резонатора, измеряющий как CO_2, так и CH_4 (https://icos-atc.lsce.ipsl.fr/PUY). С 2010 г. по настоящее время также проводятся измерения CO_2, CH_4, N_2O и SF_6 газовым хроматографом. Мониторинг парниковых газов на вершине Пюи-де-Дом будет продолжен в рамках европейской научно-исследовательской инфраструктуры — Комплексной системы наблюдений за углеродом (КСНУ), а на 2016 г. запланировано проведение аудита этих измерений со стороны ВМО и КСНУ.

JN 151955